

ThermoTumbler: 下唇周辺への温度提示による飲料の食体験と味覚変化の実現

上堀 まい^{1,a)} 伊藤 弘大^{1,b)} 伊藤 雄一^{1,c)}

概要: 食事は人生最大の喜びや幸福感をもたらす楽しい体験であり、食事を楽しむことは幸せな人生を送ることに繋がる。一方で、食生活の改善は生活習慣病や肥満の一次予防と重症化予防につながると報告されている。多くの場合、塩分や糖分を控えた食事を摂取したり、好きな食品を我慢する必要がある。我々は、ユーザが知覚する基本五味のことを「味覚」、飲料の後味やのど越しのような、味覚以外の感覚を「食体験」として扱う。本研究では、特に飲料の摂取において、飲料を変化させることなく、下唇周辺への温度提示によって、「口中香」「後味」「味の濃さ」「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」といった食体験や味覚に影響を与える方法として、ThermoTumbler を提案する。ThermoTumbler では、下唇周辺への温度提示を実現するために、ペルチェ素子やヒートパイプ等を利用して飲み口の温度制御を実現した。ThermoTumbler を用いて、下唇周辺への温度提示による食体験や味覚の変化を調査した。評価実験の結果、提示温度に応じて実験参加者の感じる飲料の「温度」「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」が変化することが明らかになった。

1. はじめに

食事は人生最大の喜びや幸福感をもたらす楽しい体験であり、食事を楽しむことは幸せな人生を送ることに繋がる [1,2]。一方で、食生活の改善は生活習慣病や肥満の一次予防と重症化予防につながると報告されており、塩分の過剰摂取の抑制は高血圧の予防につながるように、健康的な生活を送るために食事の管理は欠かせない [3]。また、食事は肌の健康にも非常に重要である [4]。しかし、多くの場合は塩分や糖分を控えた食事を摂取する必要があり、好きな食品や飲料を我慢しなければならない。そこで、健康的な生活を支援するために、人工的な味覚を提示する研究が進んでいる。

人工的に味覚を再現するために化学物質を組み合わせる方法があるが、化学物質は取り扱いが難しいため、日常的な利用が困難である。そこで近年では、化学物質を使わない様々な味覚提示手法の研究がなされている。例えば、舌に電気刺激を与え、「味覚」として基本五味を提示する研究が存在する。舌に対する電気刺激では、味覚提示は可能であるが、口中香や後味、味の濃さ、のど越し、おいしさ、心地よさといった「食体験」を変化させることは困難である。そこで、視覚や聴覚のような情報を提示することによ

て、食体験を変化させる情報プロジェクション技術や、これらの感覚を組み合わせ提示することで、感覚相互作用を生み、その感覚知覚を強調するクロスモーダル技術が注目されている。他にも、舌や鼻周辺への温度提示や食品の温度が食体験や味覚に与える影響についての研究が進んでいる。しかし、舌以外の口腔内や周辺への温度提示は行われていない。例えば、咀嚼時に食器やカトラリーに触れるのは下唇であり、下唇の温度覚も食体験や味覚において重要であると考えられるがこれを検討した研究はない。

そこで我々は、下唇周辺への温度と飲料の温度を個別に制御し、これらの温度と食体験、味覚の関係を明らかにすることを目指し、検討を進めている。本稿では、下唇に任意の温度を提示可能なタンブラー型デバイス「ThermoTumbler」を提案し、プロトタイプを実装する。下唇が触れる部分をヒートパイプで構成し、ヒートパイプに装着したペルチェ素子の温度を正確に制御することで、下唇周辺への温度提示を実現する。そして、ThermoTumbler のプロトタイプを用いてこの温度提示が食体験と味覚に及ぼす効果を検証する。なお本稿では、ユーザが知覚する基本五味のことを「味覚」、飲料の後味やのど越しのような、味覚以外の感覚を「食体験」として扱う。

2. 関連研究

2.1 化学物質による味覚提示

味覚 (基本五味) は様々な化合物によって再現できるこ

¹ 青山学院大学 大学院理工学研究科

^{a)} mai.kamihori@x-lab.team

^{b)} kodai.ito@it.aoyama.ac.jp

^{c)} itoh@it.aoyama.ac.jp

とがわかっている [5]. 味覚を再現するために化学物質を組み合わせる手法として, Maynes らの “TasteScreen” [6] は, 複数の化学香料を利用した可食液体をディスプレイ上部に配置し, ディスプレイ表面に味を出力するシステムを用いて味を再現するシステムを提案している. 宮下らの “TTTV” [7] は, 味センサで測定した食品の情報をもとに合成した化学物質を, スクリーン上に配置された透明なシートに噴霧することで, 元の食品の見た目と味を再現している. 化学物質を扱う研究では, 化学物質の管理や最適な配合が必要であり, 容易に実装できないという問題点がある. また, グルタミン酸ナトリウムなどの人工化学物質の長期使用は, 人体に悪影響を及ぼす可能性がある [8].

2.2 電気刺激による味覚提示

電気味覚を用いた味覚提示手法として, 青山らは, この手法の1つである陰極刺激を用いることで, 基本五味すべてに対して味覚制御ができることを報告している [9]. また, 電気刺激によって味覚の変化が可能なカトラリーや食器型のデバイスが提案されている [10–13]. 味覚提示において, 化学的な制御よりも電気刺激による制御の方が容易であるが, 舌に対する電気刺激のみではのど越しの変化や香りの付与などの食体験を変化させることは困難である.

2.3 クロスモーダル技術

視覚, 聴覚, 味覚の間の感覚相互作用を用いて, 味覚を変化させる手法として, 鳴海らは, “Meta Cookie” [14] を提案している. “Meta Cookie” では, プレーンクッキーの見た目と匂いを変化させることで, 異なる味覚を知覚できる. また, 視覚情報のみを組み合わせる手法として, 鳴海らは, HMD を用いて食品の見かけの大きさを変えることで満腹感を変えて, 食事の摂取量をコントロールする研究も行っている [15]. 中野らは, StarGAN を用いて動的に食品の見た目を別の食品に変える AR システムを提案している [16]. 他にも, “ABCD” [17] では, 飲料に仮想的な色を組み合わせる疑似味覚ディスプレイを提案している. 聴覚情報を組み合わせる手法として, Wang らの “iScream!” [18] では, アイスクリームを食べる際にコーン機構部から4種類の音を再生し, 遊び心のある食体験を創造できる. 小泉らの “Chewing JOCKEY” [19] では, 骨伝導ヘッドフォンにセンサ付きのアームを取り付け, 咀嚼活動に合わせて咀嚼音を加工した聴覚情報を提示する. このように, クロスモーダル技術を用いることで, ユーザに味覚や食体験の情報提示が可能となる.

2.4 温度提示による食体験・味覚提示

食品の温度が食体験や味覚に影響を与えることが分かっている. Stokes らは, コーヒーの温度はコーヒーの味覚や香りに影響を与えることを報告している [20]. Kim らは,

スープ (鶏がらスープ, 味噌汁, 塩水) の温度と提供温度の好みによって, スープの塩味知覚に影響を与えることを報告している [21]. 他にも, ワイン [22] とチーズスープ [23] は, 食品の温度によって香りに影響を与え, チェダーチーズ [24] は, 温度によって, 酸味に影響を与え, 米飯 [25] は, 温度によって, 香り, 食感, 甘味に影響を与えることが分かっている. つまり, 食品自体の温度を制御する, すなわち食品によって口腔内へ温度を提示することで, 食体験や味覚を変化させることができると言える.

鼻周辺や舌への温度提示による味覚提示手法の研究もなされている. 鈴木らの “Affecting Tumbler” [26] では, 鼻周辺に冷温覚を提示することで, 飲料の味の濃さや後味, 心地よさ, 苦味が変化することが示されている. Cruz らは, 舌前端的な鼓索神経を加温することで甘味を, 冷却することで酸味または塩味を提示できると報告している [27]. Karunanayaka らは, 短時間で舌の表面の温度を変化可能な “Thermal Taste Machine” [28] を提案している. “Thermal Taste Machine” では, 舌に温度提示することで, 基本五味と食体験 (ミント味や快感など) に影響を与えることが示されている.

このように, 舌や鼻周辺への温度提示や食品の温度が, 食体験や味覚に与える影響について研究が進んでいるものの, 舌以外の口腔内や唇といった口周辺への温度提示による食体験や味覚変化に関する研究はなされていない. 咀嚼時に食器やカトラリーに触れるのは下唇であることから, 下唇の温度覚も重要である. 舌や鼻周辺への温度提示によって食体験や味覚が変化するという先行研究 [26–28] をもとに, 本研究では下唇への温度提示による食体験や味覚変化を調査する. “Affecting Tumbler” [26] では, 飲料の成分を変えずに鼻周辺への温度提示によって心地よさや後味に影響を与えることがわかっているため, この知見をもとに, 本研究では, 下唇周辺へ温度提示することで飲料の食体験や味覚を変化させられるかについて検討を行った. 特に本稿では飲料を飲む行為に注目し, 飲料を口にするのと同時に下唇に任意の温度を提示する ThermoTumbler を提案し, 上記について検討を行う.

3. ThermoTumbler

3.1 提案システムの概要とプロトタイプ実装

図1に, ThermoTumbler の構成を示す. ThermoTumbler は, タンブラー, ヒートパイプ, 2つの温度変化モジュール, 温度を取得するサーミスタ, 制御基板及び PC により構成される. 下唇への温度提示を実現するために, 熱を瞬時に伝えるアルミヒートパイプを飲み口としてタンブラーに取り付け, ヒートパイプの温度を変化させる温度変化モジュールを実装し, 2つのモジュールをヒートパイプの両端に固定する. 温度変化モジュールは, 温度を提示するためのペルチェ素子, ヒートシンク, ファンで構成

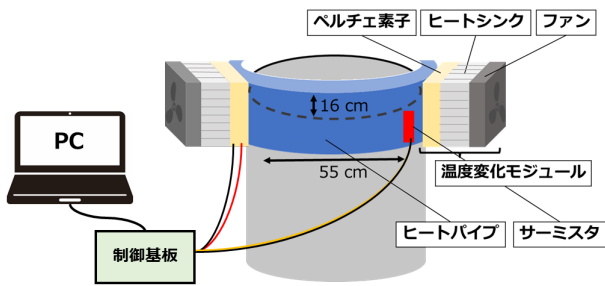


図 1 ThermoTumbler のプロトタイプシステムの構成



図 2 実装したプロトタイプ

し、ペルチェ素子に対してモータドライバから電流を正方向または逆方向に流すことで、加熱・冷却を制御する。ペルチェ素子は吸熱した熱量と消費電力分の熱量が放熱側から放熱され、これを冷却するために、ヒートシンクとファンを配置する。

図 1 に示した構成をもとに、ThermoTumbler のプロトタイプシステムを実装した (図 2)。タンブラーは、飲料の温度を維持し、外側に飲料の熱が伝わらない真空断熱構造 (サーモス社製) を採用した。次に、ThermoTumbler の飲み口の素材について検討した。飲み口は温度を変化させやすい素材が適しており、下唇が触れたときに皮膚の体温で温度が変化しないようにするため、飲み口の温度を維持するためにも、比熱と熱伝導率が大きな物質が適切であると考えられる。そこで、食器やカトラリーで使用されている素材の中から、比熱と熱伝導率が大きいアルミニウムのヒートパイプを採用した。

温度変化モジュールの熱を効率的に伝えるために、タンブラーとヒートパイプの間に断熱材を挟み、隙間から飲料が浸透しないようにネオプレーン系接着剤を用いて接着した。下唇と口角に同一の温度を提示するため、タンブラーからはみ出すようにしてヒートパイプを取り付けた。一般的に成人の上唇の厚さは、中央値が 13.87 mm で標準偏差が 2.13 mm である [29]。そのため、タンブラーから飲み口が 16 mm はみ出すようにヒートパイプを接着した。一方

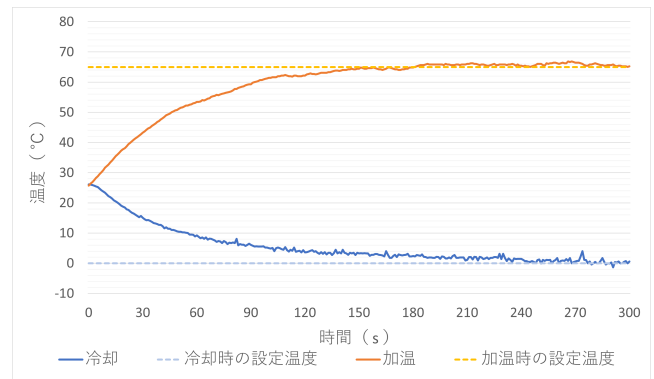


図 3 加温時と冷却時の温度変化

で、口角の幅は男性の方が長く、男性の平均は 49.7 mm、標準偏差が 3.6 mm なので [30]、横幅 55 mm になるようにヒートパイプに断熱材を取り付けた。

温度変化モジュールは、30 mm × 30 mm のペルチェ素子 (ナリカ製 B10-7952-02) とヒートシンク (アーテック製 66901)、DC ファン (山洋電気製 109P0405J601) を使用し、3D プリンタでケースを作成した。制御基板に Arduino と温度制御するためのモータドライバ (東芝製 TA8429HQ) を実装する。ヒートパイプの温度を計測するためにサーミスタ (SEMITEC 製 103JT-025) で飲み口の温度をリアルタイムに取得し、取得した温度は制御基板に伝えられ、PID 制御によってペルチェ素子を駆動する。

実装後に、ThermoTumbler の加温および冷却性能の評価実験を行った。加温時と冷却時の温度変化の様子を図 3 に示す。5 分間加温・冷却し続けることで、飲み口の温度を 1°C の精度で 0°C から 65°C まで制御できることを確認した。

4. 下唇周辺への温度提示による食体験と味覚の調査

本実験は、3 条件の温度 (冷却、常温、加温) の飲料を口にする際に、飲料の温度とは異なる温度のタンブラーを使用することで、これらの温度の違いによる食体験や味覚の変化を評価することを目的とする。

4.1 実験条件

先行研究から、食品の温度による食体験や味覚の変化は、食品の種類によって異なることがわかっている [20-25]。また、“Affecting Tumbler” では、オレンジジュースとリンゴジュースを用いて鼻周辺の皮膚に温度提示したときの食体験や味覚の影響を調査している [26]。そこでこれらの研究を参考に、本実験では、飲料としてオレンジジュースとリンゴジュース (ともにえひめ飲料社製) に加え、無味無臭である水を使用した。

タンブラーと飲料の組み合わせ条件 (9 条件) を表 1 に示す。先行研究である “Affecting Tumbler” は、鼻周辺の皮

表 1 飲料と ThermoTumbler の提示温度の組み合わせ

	冷却タンブラー (Ct)	基準タンブラー (standard)	加温タンブラー (Ht)
冷却飲料 (Cd) 5 °C	3 °C	5 °C	7 °C
常温飲料 (Nd) 24 °C	22 °C	24 °C	26 °C
加温飲料 (Hd) 45 °C	43 °C	45 °C	47 °C

膚の温度を室温 ± 2 °C 変化させることで、食体験と味覚に及ぼす影響を調査しており [26]、これを参考に、本実験では、下唇の温度の 3 条件として、飲料と同じ温度、冷却条件 (Ct) では -2 °C、加温条件 (Ht) では $+2$ °C の温度を提示することとする。飲料は冷却 (Cd)・常温 (Nd)・加温 (Hd) の 3 条件を提示する。冷却食品は 5 °C から 10 °C、加温食品は 60 °C から 65 °C が好まれるとされるため [31]、冷却飲料は 5 °C に設定した。加温飲料の条件として、特に下唇に対する 50 °C 以上の高温提示は、重大な組織損傷を引き起こす可能性があるため、下唇に対する最高提示温度を 47 °C に設定し [32]、加温飲料は 45 °C に設定した。食品や飲料の温度によって香りや基本五味が変化することがわかっている [20-25]。そのため、一般的にジュースを加温して飲むことは少ないが、本実験ではジュースの加温条件も加えて実験を実施した。冷却飲料は冷蔵庫を用いて温度を管理し、加温飲料は電子レンジで加温した後、カップウォーマーを用いて温度を管理した。

評価はマグニチュード推定法で行った。飲料と同じ温度のタンブラーでの試飲を基準として、その後の試飲（比較刺激）の「下唇の温度」「飲料の温度」「口中香」「後味」「味の濃さ」「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」という“食体験”に関する強さ及び「甘味」「塩味」「酸味」「苦味」「うま味」という“味覚”に関する強さを、基準を 1 として対比で回答してもらった。温度の評価は、「温かさ」と「冷たさ」の基準を設けた。

「下唇の温度」は、タンブラーの温度を ± 2 °C 変化させたことによって、その温度の感じ方に変化がみられるかを調査するために、「飲料の温度」は、下唇周辺への温度提示によって飲料の温度の感じ方に変化がみられるかを評価するために設けた。また、客観的な食体験の評価をしてもらうために、「口中香」「後味」「味の濃さ」「のど越し」の 4 項目を、実験参加者の個人的な好みを評価してもらうために「おいしさ」「心地よさ」の 2 項目を設けた。これら食体験に関する 6 項目に加え、基本五味を評価する 5 項目を設定した。また、各比較刺激について自由回答で印象を尋ねた。

4.2 実験手順

実験参加者は、青山学院大学の大学生及び大学院生の男女計 18 名（男性 9 名、女性 9 名、平均年齢 22.1 ± 1.3 歳）で

あり、実験前に本実験の説明をし、同意書に署名をしてももらった。実験参加者にはあらかじめ飲料を試飲し評価する実験であること、実験はいつでも中止できることを伝えた。その際、提示する飲料が嫌いでないこと、アレルギーがないことを確認した。また、のどの渇きが食体験の評価に影響を与えることを避けるため、実験を始める前に、100 mm の数直線上に現在の口渴具合を評価する Visual Analogue Scale 法を用いて、のどの渇き具合を主観的に評価してもらった。数直線は「乾いていない」を 0、「とても乾いている」を 100 とした。評価値が 70 以上の場合、水を一口飲ませてから実験を実施した。

最初に、飲料と同じ温度のタンブラー（基準タンブラー）での試飲を基準として提示する。その後、比較刺激を基準と比較して口頭で評価してもらった。これを 1 セットとし、1 種類の飲料に対して 6 セット実施した。飲料の温度は、提示直前に赤外線放射温度計を用いて測定した。タンブラーには、10 g の飲料を入れた。順序効果を考慮し、タンブラーと飲料の温度の組み合わせはランダムに提示した。実験参加者には、タンブラーと飲料の温度の組み合わせは伝えずに試飲してもらった。なお、試飲は何度でもできること、タンブラーに入っている飲料はすべて飲まなくてもいいこと、タンブラーを渡したらできるだけ早めに口に運ぶことを伝えた。また、口内に残った味をなくすため、オレンジジュースとリンゴジュースにおいて、違う条件の提示前には、水を 1 口飲むよう指示した。下唇周辺への温度提示を実現するために、タンブラーに取り付けたヒートパイプを下唇に当てて飲むように指示した。

4.3 実験結果

タンブラーと飲料の温度の違いにより、前述の食体験や味覚が変化するか検証した。マグニチュード推定法で得られたデータは個人間で尺度のスケールが違うため、実験参加者ごとの値を平均が 0、標準偏差が 1 となるように標準化した。標準化は、実験参加者のすべてのデータの平均値と標準偏差を求め、各評価値から平均値を減算し、さらに標準偏差で除算した。標準化した評価データに対し Shapiro-Wilk 検定を実施したところ、すべての評価項目で正規分布ではなかったため、ノンパラメトリック検定である Friedman 検定を実施した。そして、Bonferroni 法で多重比較を行い、各評価データとの有意差を調査した。各飲料の標準化した評価データの中央値と基準の中央値との差を図 4 から図 14 に示す。各数直線の凡例では、飲料の温度、飲料の種類、タンブラーの温度を示す。オレンジジュースは O、リンゴジュースは A、水は W とし、飲料の種類とタンブラーの温度は表 1 で示した通りである。例えば、冷却オレンジジュースを冷却タンブラーで飲んだ場合は、“Cd+O Ct” とする。

4.3.1 下唇の温度

図4と図5に「下唇の温度」に対する評価結果を示す。常温オレンジジュース&加温タンブラーと常温水&加温タンブラーは、基準タンブラーと冷却タンブラーよりも有意に下唇の温かさが増した ($p < 0.01$)。常温リンゴジュース&加温タンブラーは、基準タンブラーに対して有意な差はなかったが、半数以上が下唇の温かさが増したと回答した。すべての飲料の加温条件において、加温タンブラーは基準タンブラーよりも有意に下唇の温かさが増した。

すべての飲料の冷却条件において、冷却タンブラーは基準タンブラーよりも有意に下唇の冷たさが増した ($p < 0.01$)。冷却オレンジジュース&加温タンブラーと冷却水&加温タンブラーは、基準タンブラーに対して有意な差はなかったが、半数以上が下唇の冷たさが増したと回答した。冷却リンゴジュース&加温タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に下唇の冷たさが増した ($p < 0.05$)。すべての飲料の常温条件において、冷却タンブラーは基準タンブラーと加温タンブラーよりも有意に下唇の冷たさが増した ($p < 0.01$)。

これらの結果から、常温条件の $22^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ 、加温条件の $43^{\circ}\text{C} \sim 47^{\circ}\text{C}$ において、 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の温度差を下唇で感じられることが明らかになった。

4.3.2 飲料の温度

図6と図7に「飲料の温度」に対する評価結果を示す。加温オレンジジュース&加温タンブラーと加温リンゴジュース

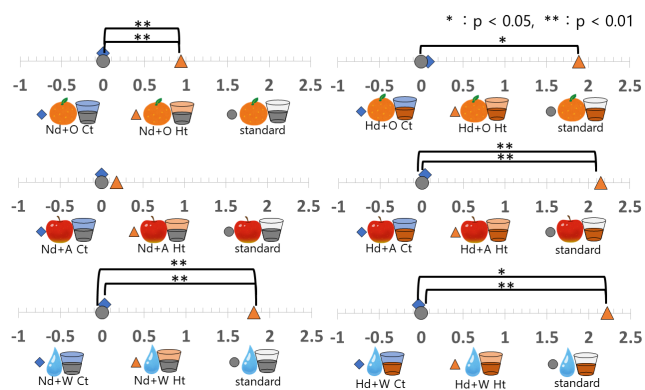


図4 下唇の温度 (温かさ) の結果

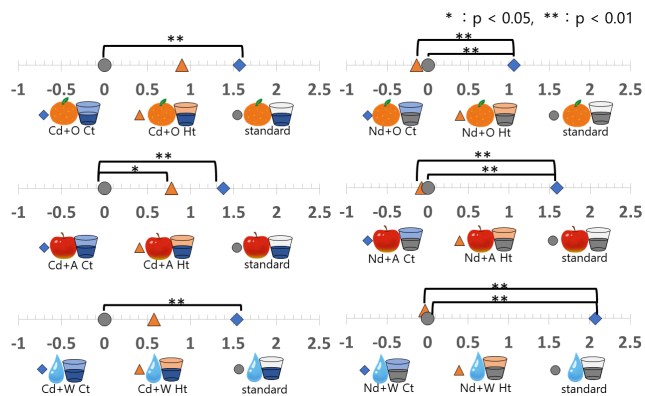


図5 下唇の温度 (冷たさ) の結果

ス&加温タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に飲料の温かさが増した ($p < 0.05$)。

すべての飲料の冷却条件において、冷却タンブラーは基準タンブラーよりも有意に飲料の冷たさが増した ($p < 0.01$)。冷却オレンジジュース&加温タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に飲料の冷たさが増したが ($p < 0.05$)、冷却タンブラーは加温タンブラーよりも有意に飲料の冷たさが増した ($p < 0.01$)。冷却リンゴジュース&加温タンブラーと冷却水&加温タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に飲料の冷たさが増した ($p < 0.01$)。すべての飲料の常温条件において、冷却タンブラーは基準タンブラーよりも有意に飲料の冷たさが増した ($p < 0.05$)。常温水&加温タンブラーは、基準よりも有意に飲料の冷たさが増した ($p < 0.05$)。

これらの結果から、 45°C のジュースを飲むときに、タンブラーを $+2^{\circ}\text{C}$ 加温することでジュースをより温かく感じる事がわかった。常温飲料であっても、タンブラーを -2°C 冷却すると、飲料自体が有意に冷たく感じる事が明らかになった。

4.3.3 口中香

全ての飲料において、タンブラーと飲料の温度の組み合わせによる「口中香」の評価に有意な差はなかった。

4.3.4 後味

図8に「後味」に対する評価結果を示す。冷却オレンジジュース&冷却タンブラーと冷却リンゴジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーに対して有意な差はなかったが、半数以上が基準タンブラーよりも「後味」が増したと回答した。常温リンゴジュース&冷却タンブラーと加温オレンジジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に「後味」が増した ($p < 0.05$)。水は、タンブラーと飲料の温度の組み合わせによる「後味」に有意な差はな

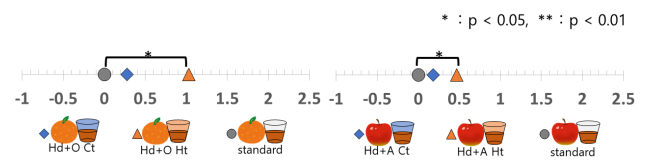


図6 飲料の温度 (温かさ) の結果

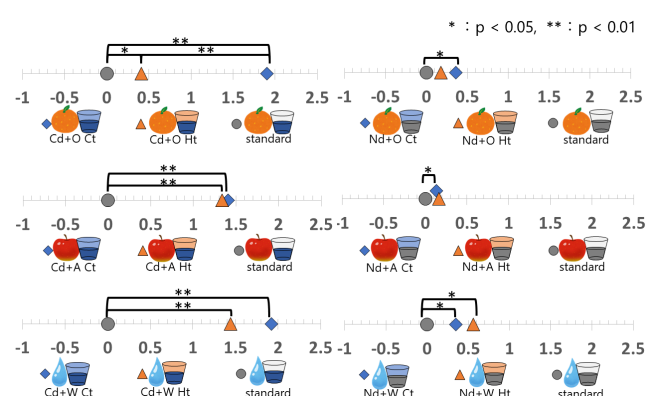


図7 飲料の温度 (冷たさ) の結果

かった。

これらの結果から、5 °C のジュースを試飲する際に、タンブラーを-2 °C 冷却することで、「後味」が増す傾向があるとわかった。

4.3.5 味の濃さ

図9に「味の濃さ」に対する評価結果を示す。常温オレンジジュース&冷却タンブラーは、加温タンブラーよりも有意に「味の濃さ」が増した ($p < 0.05$)。加温オレンジジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に「味の濃さ」が増した ($p < 0.05$)。加温オレンジジュース&加温タンブラーは、冷却タンブラーよりも有意に「味の濃さ」が減少した ($p < 0.05$)。リンゴジュースと水は、タンブラーと飲料の温度の組み合わせによる「味の濃さ」に有意な差はなかった。

これらの結果から、24 °C または 45 °C のオレンジジュースを試飲する際にタンブラーを冷却することで、「味の濃さ」が増すとわかった。

4.3.6 のど越し

図10に「のど越し」に対する評価結果を示す。冷却オレンジジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーと加温タ

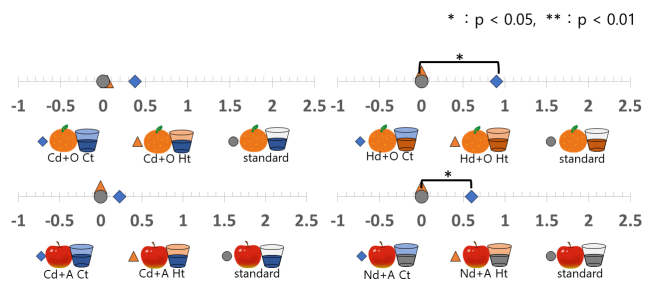


図 8 後味の結果

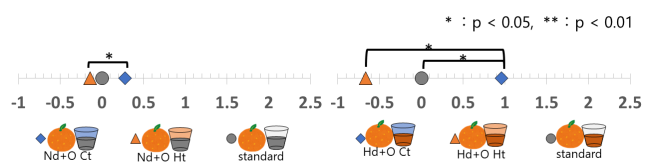


図 9 味の濃さの結果

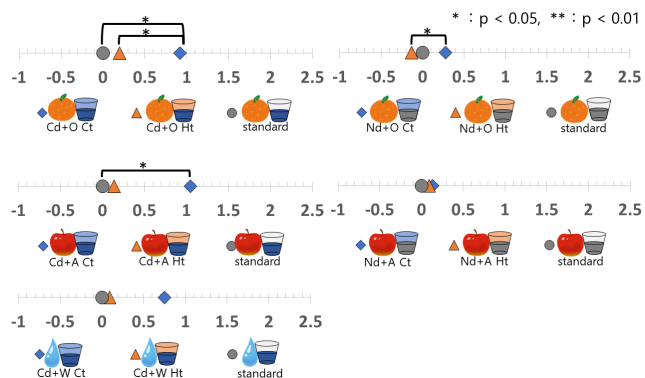


図 10 のど越しの結果

ンブラーよりも有意に「のど越し」が良くなった ($p < 0.05$)。冷却リンゴジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に「のど越し」が良くなった ($p < 0.05$)。冷却水&冷却タンブラーは、基準タンブラーに対して有意な差はなかったが、半数以上が基準タンブラーよりも「のど越し」が良くなったと回答した。常温オレンジジュース&冷却タンブラーは、加温タンブラーよりも有意に「のど越し」が良くなった ($p < 0.05$)。常温リンゴジュース&冷却タンブラーは、のど越しが変化したと答えた人のうち、半数以上が加温タンブラーよりも「のど越し」が良くなったと回答した。

これらの結果から、5 °C の飲料を試飲する際に、タンブラーを-2 °C 冷却すると、「のど越し」が良くなることが明らかになった。

4.3.7 おいしさ

図11に「おいしさ」に対する評価結果を示す。冷却オレンジジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に「おいしさ」が増した ($p < 0.01$)。冷却リンゴジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーに対して有意な差はなかったが、半数以上が基準よりも「おいしさ」が増したと回答した。常温オレンジジュース&冷却タンブラーは、加温タンブラーよりも有意に「おいしさ」が増した ($p < 0.05$)。また、基準タンブラーに対して有意な差はなかったが、半数以上が基準タンブラーよりも「おいしさ」が増したと回答した。常温リンゴジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に「おいしさ」が増した ($p < 0.01$)。水は、タンブラーと飲料の温度の組み合わせによる「おいしさ」に有意な差はなかった。

これらの結果から、5 °C または 24 °C のジュースを試飲する際にタンブラーを冷却することで、「おいしさ」が増すとわかった。

4.3.8 心地よさ

図12に「心地よさ」に対する評価結果を示す。冷却オレンジジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に「心地よさ」が増した ($p < 0.05$)。冷却リンゴジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーに対して有意な差はなかったが、半数以上が基準タンブラーよりも「心地よさ」が増したと回答した。常温オレンジジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーと加温タンブラーよりも有意

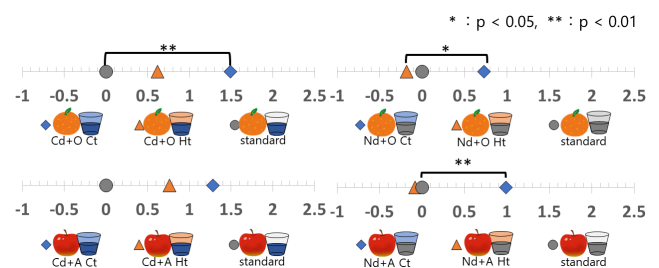


図 11 おいしさの結果

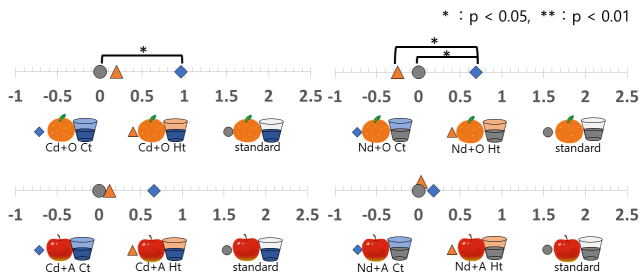


図 12 心地よさの結果

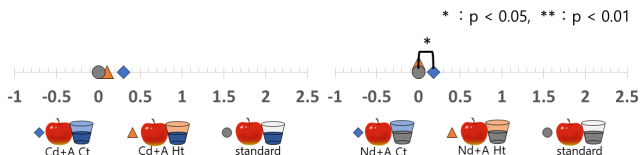


図 13 甘味の結果

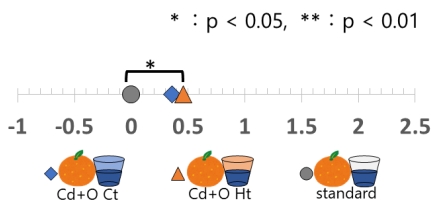


図 14 酸味の結果

に「心地よさ」が増した ($p < 0.05$)。常温リンゴジュース&冷却タンブラーは、心地よさが変化すると答えた人のうち、半数以上が加温タンブラーよりも「心地よさ」が増したと回答した。水は、タンブラーと飲料の温度の組み合わせによる「心地よさ」に有意な差はなかった。

これらの結果から、 5°C または 24°C のジュースを試飲する際にタンブラーを冷却することで、「心地よさ」が増すとわかった。

4.3.9 基本五味

図 13 に「甘味」に対する評価結果を示す。冷却リンゴジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーに対して有意な差はなかったが、半数以上が基準タンブラーよりも「甘味」が増したと回答した。常温リンゴジュース&冷却タンブラーは、基準タンブラーよりも有意に「甘味」が増した ($p < 0.05$)。オレンジジュースと水は、タンブラーと飲料の温度の組み合わせによる「甘味」に有意な差はなかった。

図 14 に「酸味」に対する評価結果を示す。冷却オレンジジュース&加温タンブラーは基準タンブラーよりも有意に「酸味」が増した ($p < 0.05$)。リンゴジュースと水は、タンブラーと飲料の温度の組み合わせによる「酸味」に有意な差はなかった。

すべての飲料で、タンブラーと飲料の温度による「塩味」「苦味」「うま味」に有意な差はなかった。

4.3.10 自由回答

「 7°C の加温タンブラーも冷たく感じた」「下唇周辺へ

の温度提示によって、違う温度の飲料であるように感じた」「ジュースは飲料の温度によって食体験や味覚に影響があった」「全ての飲料で飲料が冷たいほうがおいしかった」などが報告された。

5. 考察

5.1 概要

本稿では、飲料を口にする際に、飲料の温度とは異なる温度のタンブラーを使用することで、これらの温度の違いによる食体験や味覚の変化を評価することを目的とし、実験を行った。評価実験の結果から、ThermoTumbler を用いて、飲用時に下唇周辺への温度提示によってユーザーの知覚する食体験を向上でき、味覚を変化させられることがわかった。一部の評価項目では、下唇周辺への提示温度の差が $\pm 2^{\circ}\text{C}$ では有意な差はなかったものの、下唇周辺への温度差が $\pm 4^{\circ}\text{C}$ の場合、食体験に影響を及ぼすことが明らかになった。このことから、常温タンブラーよりも 4°C 以上冷却・加温するというように、温度幅を変更することで更なる食体験や味覚の変化が期待できる。以下の節では、食体験と味覚の評価項目ごとに考察を述べる。

5.2 食体験

冷却リンゴジュースの条件において、加温タンブラー (7°C) は基準タンブラーよりも $+2^{\circ}\text{C}$ 加温していたにもかかわらず、有意に下唇の温度が冷たくなったと評価されていた。この理由として冷覚や温覚が最も働くのは、 $16 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 前後であるため、冷却飲料条件におけるタンブラーの温度 ($3^{\circ}\text{C} \sim 7^{\circ}\text{C}$) では温度差を判断しにくいことが挙げられる [33]。

すべての冷却飲料において、冷却タンブラーと加温タンブラーは基準よりも下唇と飲料の冷たさが増した。冷却オレンジジュース&加温タンブラーにおいて、飲料の温度が冷たいと回答した人のうち、8割以上の人が下唇の温度も冷たくなったと回答した。一方で、常温飲料であっても、タンブラーを -2°C 冷却すると、有意に飲料の冷たさが増すことがわかった。このことから、下唇に飲料よりも冷たい感覚を提示することで、飲料自体の温度も冷たく感じると考えられる。

オレンジジュースとリンゴジュースの条件で、タンブラーの温度によって「後味」に有意な差があった。しかし、「味の濃さ」の評価に有意な差があったのは、オレンジジュースのみであった。自由回答より、「オレンジジュースの方がリンゴジュースよりも味が濃く感じた」と報告された。このことから、飲料自体の味や味の濃さの違いによって、下唇周辺への温度提示による「後味」や「味の濃さ」の変化が異なると考えられる。一方で、常温オレンジジュース&冷却タンブラーは、加温タンブラーよりも有意に「味の濃さ」が増した。 2°C の温度差 (冷却タンブラーと基準)

では有意な差はなかったが、4 °C の温度差では有意な差があったことから、タンブラーの設定温度を変更することで、より「味の濃さ」の感じ方を変化できると考えられる。

飲料の冷却・常温条件では、タンブラーを冷却すると「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」が増すことが示された。高橋らは、「のど越し」がおいしさの要因の1つであると報告しており [34]、下唇周辺への温度提示によって「のど越し」を変化させ、飲料の「おいしさ」を増すことができたと考えられる。また、飲料をおいしく感じたことで、「心地よさ」も向上したと考えられる。

5.3 味覚

下唇周辺への温度提示によって、リンゴジュースでは「甘味」、オレンジジュースでは「酸味」において変化があった。自由回答でも、リンゴジュースでは甘味を、オレンジジュースは酸味を感じたと報告された。リンゴジュースはオレンジジュースよりも甘味が強く、オレンジジュースはリンゴジュースよりも酸味が強いいため、タンブラーの温度提示によってリンゴジュースには「甘味」、オレンジジュースは「酸味」の変化があったと考えられる [35]。オレンジジュースとリンゴジュースに比べて、水は下唇周辺への温度提示による食体験と味覚の影響が少なかった。この理由として、ジュースと比較して水は含有成分が少なく、無味無臭に近いからであると考えられる。一方で、オレンジジュースとリンゴジュースの含有成分は異なるため、オレンジジュースとリンゴジュースにおいて、下唇周辺への温度提示による食体験と味覚の変化が異なると考えられる。

5.4 応用

上記の結果・考察を踏まえて、実用的なタンブラーの提示温度について考察する。下唇周辺への提示温度が 24 °C±2 °C のとき、飲料の温度に関係なく、「のど越し」が良くなり、「おいしさ」と「心地よさ」が増す。このことから、実験に使用した温度幅は、飲料を冷却・加温する余裕がない災害時のような状況下で、食体験に影響を及ぼすのに十分であると考えられる。また、図 3 に示すように、24 °C 付近の温度は変化に要する時間が少ないため、タンブラーを使用する直前でも温度変化を完了させることができ、違和感なく食体験を変化させられる。一方で、実験の結果より、下唇周辺への提示温度が 5 °C±2 °C のときは、上述した 24 °C±2 °C の時よりも「のど越し」が良くなる。このことより、この温度幅は、ジュースやビールのように冷たいことで食体験が良くなる飲料と組み合わせるのが望ましい。既存の飲食店等では、冷凍庫で長時間冷やして冷たいグラスを用意しているが、本タンブラーを用いれば、冷却してのど越しを良くするだけでなく、様々に温度を制御することで食体験を変化させることが可能である。

6. まとめ

本研究では、下唇周辺への温度提示により、飲料自体は変化させずに食体験の向上や味覚の変化の実現を目指し、ThermoTumbler を提案した。ThermoTumbler を用いて、飲料を口にする際に下唇周辺に温度を提示することで、食体験や味覚が変化するかを評価した。

実験では、オレンジジュース、リンゴジュース、水を使用した。飲料の冷却・常温・加温の 3 条件を提示し、タンブラーは飲料と同じ温度と ±2 °C の温度を提示した。実験の結果から、以下のことが明らかになった。

- 常温飲料ではタンブラーを-2 °C 冷却すると、飲料自体が冷たく感じる。
- 飲料の冷却・常温条件では、タンブラーを冷却すると「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」が増す。
- 提案手法によって食体験や味覚に影響を与えられる。
- 下唇の温度提示による食体験や味覚の影響は飲料の種類によって異なる。

本実験では、多くの実験参加者が下唇周辺への温度変化を認識していたが、温度変化を認識しない場合であっても、食体験や味覚が変化したと感じた実験参加者が複数名いた。このことから、下唇周辺への温度提示が意識される場合と意識されない場合で食体験や味覚の影響について検証する必要があると考える。他にも、本実験では一定の温度を提示したが、試飲中に温度を動的に変化させることで食体験や味覚に及ぼす影響を検証する予定である。

加えて、実験参加者数と飲料の種類を増やし、下唇周辺への温度提示による食体験と味覚の関係を明らかにする予定である。今後は、温度を正確に制御可能なスプーンなど、温度提示カトラリーやタンブラー以外の食器の実装を行い、提案手法の飲料以外への適用を目指す。これらを使用することで、食品をのど越しよく、おいしく、心地よく摂取することができ、苦手な食品でもおいしく食べることができるような効果が期待できる。また、常温の食品を好ましい温度に錯覚させることができれば、調理する余裕がない災害時のような状況下での活用も期待できる。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP22K18424 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Macht, M., Meininger, J. and Roth, J.: The pleasures of eating: a qualitative analysis, *Journal of Happiness Studies*, Vol. 6, pp. 137–160 (online), DOI: 10.1007/s10902-005-0287-x (2005).
- [2] U.S. Department of Agriculture Staff and United States and Department of Agriculture and United States and Department of Health & Human Services: *Nutrition and Your Health: Dietary Guidelines for Americans*, Home and garden bulletin, U.S. Department of Agriculture.

- ture (2000).
- [3] 文部科学省, 厚生労働省, 農林水産省: 食生活指針の解説要領 1. 食生活指針改定の趣旨, 文部科学省 and 厚生労働省 and 農林水産省 (オンライン), 入手先 (<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/0000132167.pdf>) (参照 2022-02-04).
 - [4] 農林水産省: みんなの食育, 農林水産省 (オンライン), 入手先 (<https://onl.la/dVGMxvg>) (参照 2022-02-04).
 - [5] Boudreau, J. C.: Taste and the taste of foods, *Naturwissenschaften*, Vol. 67, p. 14–20 (online), DOI: 10.1007/BF00424498 (1980).
 - [6] Maynes-aminzade, D.: Edible Bits : Seamless interfaces between people, data and food, *ACM CHI 2005 Extended Abstracts*, pp. 2207–2210 (online), available from (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1573105976065793920>) (2005).
 - [7] Miyashita, H.: TTTV (Taste the TV): Taste presentation display for “Licking the Screen” using a rolling transparent sheet and a mixture of liquid sprays, *The Adjunct Publication of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST ’21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 37–40 (オンライン), DOI: 10.1145/3474349.3480223 (2021).
 - [8] Nagata, M., Suzuki, W., Iizuka, S., Tabuchi, M., Maruyama, H., Takeda, S., Aburada, M. and Miyamoto, K.-i.: Type 2 diabetes mellitus in obese mouse model induced by monosodium glutamate, *Experimental animals / Japanese Association for Laboratory Animal Science*, Vol. 55, pp. 109–15 (online), DOI: 10.1538/expanim.55.109 (2006).
 - [9] Aoyama, K., Sakurai, K., Sakurai, S., Mizukami, M., Maeda, T. and Ando, H.: Galvanic tongue stimulation inhibits five basic tastes induced by aqueous electrolyte solutions, *Frontiers in Psychology*, Vol. 8 (online), DOI: 10.3389/fpsyg.2017.02112 (2017).
 - [10] Ranasinghe, N., Tolley, D., Tram, N., Liangkun, Y., Chew, B. and Do, E.: Augmented Flavours: Modulation of flavour experiences through electric taste augmentation, *Food Research International*, Vol. 117 (online), DOI: 10.1016/j.foodres.2018.05.030 (2018).
 - [11] Nakamura, H. and Miyashita, H.: Controlling saltiness without salt: evaluation of taste change by applying and releasing cathodal current, *Proceedings of the 5th International Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities*, CEA ’13, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 9–14 (online), DOI: 10.1145/2506023.2506026 (2013).
 - [12] Ranasinghe, N., Lee, K.-Y., Suthokumar, G. and Do, E.: Virtual ingredients for food and beverages to create immersive taste experiences, *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 75 (online), DOI: 10.1007/s11042-015-3162-8 (2016).
 - [13] Ranasinghe, N., Nguyen, T. N. T., Liangkun, Y., Lin, L.-Y., Tolley, D. and Do, E. Y.-L.: Vocktail: A virtual cocktail for pairing digital taste, smell, and color sensations, *Proceedings of the 25th ACM International Conference on Multimedia*, MM ’17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1139–1147 (online), DOI: 10.1145/3123266.3123440 (2017).
 - [14] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented Reality Flavors: Gustatory display based on edible marker and cross-Modal interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 93–102 (online), DOI: 10.1145/1978942.1978957 (2011).
 - [15] Narumi, T., Ban, Y., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented Perception of Satiety: Controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’12, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 109–118 (online), DOI: 10.1145/2207676.2207693 (2012).
 - [16] Nakano, K., Horita, D., Sakata, N., Kiyokawa, K., Yanai, K. and Narumi, T.: Enchanting Your Noodles: GAN-based real-time food-to-food translation and its impact on vision-induced gustatory manipulation, *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 1096–1097 (online), DOI: 10.1109/VR.2019.8798336 (2019).
 - [17] Narumi, T., Sato, M., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Evaluating cross-Sensory perception of superimposing virtual color onto real drink: toward realization of pseudo-gustatory displays, *Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference*, AH ’10, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/1785455.1785473 (2010).
 - [18] Wang, Y., Li, Z., Jarvis, R. S., Russo, A., Khot, R. A. and Mueller, F. F.: Towards understanding the design of playful gustosonic experiences with ice cream, *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, CHI PLAY ’19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 239–251 (online), DOI: 10.1145/3311350.3347194 (2019).
 - [19] Koizumi, N., Tanaka, H., Uema, Y. and Inami, M.: Chewing Jockey: Augmented food texture by using sound based on the cross-modal effect, *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE ’11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/2071423.2071449 (2011).
 - [20] Stokes, C. N., O’Sullivan, M. G. and Kerry, J. P.: Assessment of black coffee temperature profiles consumed from paper-based cups and effect on affective and descriptive product sensory attributes, *International Journal of Food Science & Technology*, Vol. 51, No. 9, pp. 2041–2048 (online), DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13176> (2016).
 - [21] Kim, J.-W., Samant, S., Seo, Y. and Seo, H.-S.: Variation in saltiness perception of soup with respect to soup serving temperature and consumer dietary habits, *Appetite*, Vol. 84 (online), DOI: 10.1016/j.appet.2014.09.018 (2014).
 - [22] Ross, C. and Weller, K.: Effect of serving temperature on the sensory attributes of red and white wines, *Journal of Sensory Studies*, Vol. 23, pp. 398 – 416 (online), DOI: 10.1111/j.1745-459X.2008.00162.x (2008).
 - [23] Kähkönen, P., Tuorila, H. and Hyvönen, L.: Dairy fat content and serving temperature as determinants of sensory and hedonic characteristics in cheese soup, *Food Quality and Preference*, Vol. 6, No. 2, pp. 127–133 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(95\)98555-W](https://doi.org/10.1016/0950-3293(95)98555-W) (1995).
 - [24] Drake, M., Yates, M. and Gerard, P.: Impact of serving temperature on trained panel perception of cheddar cheese flavor attributes, *Journal of Sensory Studies*, Vol. 20, pp. 147 – 155 (online), DOI: 10.1111/j.1745-459X.2005.00013.x (2005).
 - [25] Yau, N. and Huang, J.: Sensory analysis of cooked

- rice, *Food Quality and Preference*, Vol. 7, No. 3, pp. 263–270 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(96\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(96)00010-9) (1996). Second Rose Marie Pangborn Memorial Symposium.
- [26] Suzuki, C., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Affecting Tumbler: Affecting our flavor perception with thermal feedback, *Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '14*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/2663806.2663825 (2014).
- [27] Cruz, A. and Green, B.: Thermal stimulation of taste, *Nature*, Vol. 403, pp. 889–92 (online), DOI: 10.1038/35002581 (2000).
- [28] Karunanayaka, K., Johari, N., Hariri, S., Camelia, H., Bielawski, K. and Cheok, A.: New thermal taste actuation technology for future multisensory virtual reality and internet, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. PP, pp. 1–1 (online), DOI: 10.1109/TVCG.2018.2794073 (2018).
- [29] Isiekwe, I., Dacosta, O. and Isiekwe, M.: Lip dimensions of an adult nigerian population with normal occlusion, *The Journal of Contemporary Dental Practice*, Vol. 13, pp. 188–193 (online), DOI: 10.5005/jp-journals-10024-1119 (2012).
- [30] Kouchi, M. and Mochimaru, M.: Anthropometric database of Japanese head 2001, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, H16PRO-212.
- [31] 鈴野弘子: 調理学からみたおいしさの評価, *美味技術研究会誌*, Vol. 2008, No. 12, pp. 26–32 (オンライン), DOI: 10.11274/bimi2002.2008.12_26 (2008).
- [32] Eliav, E. and Gracely, R. H.: Chapter 3 - Measuring and assessing pain, *Orofacial Pain and Headache* (Sharav, Y. and Benoliel, R., eds.), Mosby, Edinburgh, pp. 45–56 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7234-3412-2.10003-3> (2008).
- [33] 山田幸宏 (昭和伊南総合病院健診センター長): 看護のためのからだの正常・異常ガイドブック, サイオ出版 (2016).
- [34] 高橋 亮, 西成勝好: おいしさのぶんせき, *ぶんせき*, Vol. 2010 年, No. 8, pp. 388–394 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1520290882728475264>) (2010).
- [35] Ivo, S., Šnurković Petr and Monika, B.: Chemical comparison of 100% apple, orange and grapefruit juices directly pressed and made from concentrate, *Czech Journal of Food Sciences*, Vol. 40, pp. 69–75 (online), DOI: 10.17221/194/2021-CJFS (2022).